

Transférer ou Traiter ? Evaluation environnementale de deux modes de gestion du lisier excédentaire par Analyse de Cycle de Vie

Santiago LOPEZ-RIDAURA (1), Hayo VAN DER WERF (1), Jean-Marie PAILLAT (2), Bertrand LE BRIS (3)

(1) INRA, Agrocampus Rennes, UMR1069, Sol Agronomie Spatialisation, F-35000 Rennes
(2) CIRAD-INRA, Agrocampus Rennes, UMR1069, Sol Agronomie Spatialisation, F-35000 Rennes
(3) Chambres d'Agriculture de Bretagne, CS 14226, 35042 Rennes Cedex

slopez@rennes.inra.fr

Transférer ou traiter ? Evaluation environnementale de deux modes de gestion du lisier excédentaire par Analyse de Cycle de Vie

L'objectif de cette étude est de comparer la performance environnementale de deux modes de gestion du lisier de porc permettant de résorber l'azote d'origine animale excédentaire : le transfert vs. le traitement. L'étude est basée sur le cas d'un plan de résorption collectif de lisier de porc projeté par un groupe d'éleveurs du sud-est de l'Ille et Vilaine (Bretagne). L'évaluation a été réalisée par l'Analyse de Cycle de Vie où les émissions et consommation de matériaux et énergie sont comptabilisées et agrégées en quatre indicateurs d'impact environnemental : l'eutrophisation, l'acidification, le changement climatique et l'utilisation d'énergie non-renouvelable.

Les émissions les plus importantes sont le NH_3 et le CH_4 , en particulier pendant le stockage du lisier à la ferme et à la station de traitement. La performance environnementale du scénario Transfert est meilleure que celle du scénario Traitement pour tous les indicateurs, car les émissions gazeuses et l'utilisation d'énergie sont inférieures.

To transfer or to treat? Environmental evaluation of two excess slurry management scenarios by Life Cycle Assessment.

The objective of this study is to compare the environmental performance of two strategies of slurry management for the resorption of excess nitrogen from animal dejections: transfer vs. treatment. The study is based on a real case in the Southeast of Ille et Vilaine (Brittany), where a group of farmers are developing a collective plan for the resorption of excess nitrogen. The evaluation is carried out by Life Cycle Assessment methodology, where emissions and resource consumption are quantified and aggregated into four indicators of environmental impact: eutrophication, acidification, climate change and non-renewable energy use.

The most important emissions for the two scenarios are in the form of NH_3 and CH_4 , specially during storage of slurry at the farm and at the treatment plant. The environmental performance of the transfer scenario is better than that of the treatment scenario with respect to the four indicators, as the former produces less emissions and uses less energy.

INTRODUCTION

Dans les pays d'Europe de l'Ouest, la production animale constitue plus de la moitié de la valeur totale de la production agricole (e.g. France, Pays Bas, Belgique, Danemark, Allemagne, R.U.) (Vocke, 1991). Cependant, au cours des dernières décennies, l'intensification de cette production a été basée sur l'importation d'aliments pour assurer sa rentabilité économique. De telles importations créent de nouveaux défis environnementaux liés à la difficulté de résorption de ces nutriments dans les territoires d'élevage où l'on mesure des concentrations élevées de nitrates dans les eaux souterraines et superficielles avec un risque pour la stabilité écologique des écosystèmes aquatiques et des émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au changement climatique global.

En Bretagne, la quantité d'azote apportée aux cultures sous forme organique ou minérale est largement excédentaire. Comparée aux quantités d'azote prélevées par les cultures et les prairies, l'excédent dépasse les 100 000 tonnes, soit environ 30 % des apports totaux d'azote, dont 67 % proviennent des déjections animales (Cebren et Ferron, 2003).

Dans le cadre de la directive européenne Nitrates (91/676/CEE), des Zones d'Excédent Structurel (ZES) ont été délimitées et correspondent aux cantons dont la charge en azote d'origine animale est supérieure au plafond de 170 kg par an et par hectare épanachable. En Bretagne, 104 des 187 cantons ont été classés en ZES. Dans ces ZES, toute exploitation agricole produisant une quantité d'azote supérieure à un seuil fixé entre 12 500 et 20 000 kg selon les cantons, doit mettre en place une solution de traitement ou de transfert de ses effluents hors d'une zone en excédent, de manière à réduire ses épandages sur ses terres en propre et avoisinantes (MIRE, 2004).

L'objectif de cette étude est de comparer la performance environnementale de deux modes de gestion du lisier de porc permettant de résorber l'azote d'origine animale excédentaire : le transfert vs. le traitement. L'étude est basée sur le cas d'un plan de résorption collectif de lisier de porc projeté par un groupe d'éleveurs du sud-est de l'Ille et Vilaine : 41 tonnes d'azote dans les cantons de La Guerche de Bretagne et Argentré du Plessis doivent être soit transférées dans les cantons hors ZES de Bain de Bretagne et Le Grand Fougeray afin d'être épanchées sur les terres de culture, soit éliminées par un traitement dans une station collective.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'évaluation de la performance environnementale des deux scénarios de résorption de lisier a été réalisée par Analyse de Cycle de Vie (ACV). Cette méthode d'évaluation environnementale permet de comptabiliser les impacts potentiels d'un produit ou d'une activité en terme d'émissions vers l'air, l'eau et les sols, ainsi que l'utilisation d'énergie et des matériaux (Guinee et al. 2002).

1.1. Le lisier et les scénarios

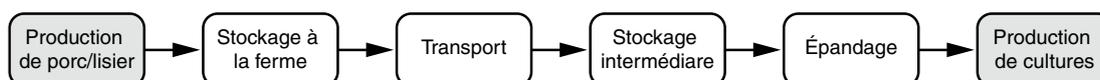
Le lisier à résorber provient exclusivement de porcs charcutiers. Les caractéristiques moyennes du lisier sont (Levasseur, 2005) : 1034 kg m⁻³, 68,4 g kg⁻¹ de matière sèche (MS), 5,8 g kg⁻¹ d'azote total (NT), 3,7 g kg⁻¹ d'azote ammoniacal (N-NH₄), 3,2 g kg⁻¹ de P₂O₅ et 4,8 g kg⁻¹ de K₂O.

Les deux scénarios étudiés sont représentés sur la figure 1. L'unité de comparaison, ou unité fonctionnelle, est 1 m³ de lisier à épancher ou traiter.

Le scénario Transfert comprend le stockage du lisier à la ferme, son transport de ZES vers la zone d'épandage, le stockage intermédiaire dans la zone d'épandage et l'épandage. Pour calculer le niveau moyen dans les fosses de stockage à la ferme et le temps de séjour moyen du lisier, nous avons considéré (1) que les fosses en béton armé, non-couvertes, avaient une capacité correspondant à 8 mois de production de lisier, (2) que la vidange des fosses se faisait au rythme du calendrier d'épandage, soit 25 % en février, 34 % en mars, 17 % en avril, 8 % en juin et 16 % en septembre. La distance moyenne de transport du lisier vers la zone d'épandage est de 39,2 km ; ce transport est réalisé avec un camion semi-remorque équipé d'une cuve de 25 m³. Dans la zone d'épandage, le lisier est temporairement stocké dans une poche souple en polyester recouverte avec du PVC (WINBAGTM), puis injecté en substitution d'engrais dans le sol avec un «TerragatorTM 2104».

Le scénario Traitement comprend le stockage du lisier à la ferme, son transport à la station de traitement, puis le traitement biologique, le transport du co-produit (refus de centrifugeuse composté) et son épandage. Pour calculer le niveau moyen dans les fosses de stockage à la ferme et le temps de séjour moyen du lisier, nous avons considéré (1) que les fosses en béton armé, non-couvertes, avaient une capacité correspondant à 6 mois de production de lisier

A) Le scénario transfert



B) Le scénario traitement



Figure 1 - Présentation schématique des processus inclus dans les deux scénarios de résorption d'azote.
Les cases grisées ne sont pas prises en compte dans l'ACV

(stockage réglementaire obligatoire dans le cas d'une station collective), (2) que la vidange des fosses se faisait 3 fois par an, soit tous les 4 mois. La distance moyenne de transport du lisier à l'usine de traitement est de 12,1 km ; le transport est réalisé avec un camion semi-remorque équipé d'une cuve de 25 m³. Le traitement du lisier est du type aérobie (nitrification/dénitrification) avec séparation de phases en tête via une centrifugeuse et avec re-circulation des boues dans le stockage du lisier entrant dans le process (Figure 2). L'efficacité d'abattement d'azote dans la station de traitement est de 70 % pour l'azote total et 90 % pour l'azote ammoniacal ; le lisier brut séjourne en moyenne 25 jours dans la fosse de stockage/homogénéisation, puis 40 jours dans la fosse d'aération et enfin 7,5 jours dans le décanteur. Les temps de séjour moyens sont de 30 jours pour les boues et de 180 jours pour le surnageant stocké dans une lagune avant d'être épandu (Loyon et al., 2005). Le refus solide est composté avec l'addition de 3 % de paille pendant 9 semaines sur une plate-forme et périodiquement retourné. Le compost est exporté vers la région céréalière du centre de la France à une distance moyenne de 200 km et appliqué en substitution d'engrais.

1.2. Les émissions et ressources

Les émissions gazeuses les plus importantes pendant le stockage, le traitement et l'épandage de lisier sont l'ammoniac (NH₃), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). Les émissions directes de CO₂ (hormis celles liées à l'utilisation d'engins) n'ont pas été prises en compte, parce qu'elles sont considérées comme faisant partie du «cycle court» du carbone récemment capté par les cultures récoltées.

Pour le scénario Transfert, les émissions de NH₃, N₂O et CH₄ pendant le stockage et, par conséquent, les caractéristiques du lisier épandu, ont été calculées sur la base des facteurs d'émission de Loyon et al. (2005). Le facteur d'émission de NH₃ a été corrigé, en tenant compte de la teneur en azote ammoniacal du lisier brut. Le temps de séjour moyen pour 1 m³ de lisier dans la fosse de stockage à la ferme est de 82,2 jours et la surface en contact avec l'air est de 0,74 m² m⁻³ ; le

facteur d'émission corrigé est de 8,85 g N m⁻² jour⁻¹. Les émissions de NH₃ après injection ont été estimées à 4 % de l'azote ammoniacal (Basset-Mens et al., 2006) ; celles de N₂O après injection ont été estimées à 2,1 % de l'azote total du lisier épandu (Sherlock et al., 2002).

Dans le scénario Traitement, les émissions de NH₃, N₂O et CH₄ pendant le stockage et le traitement ont été établies sur la base des résultats de Loyon et al. (2005). Les émissions de NH₃ et de N₂O ont été corrigées respectivement, en tenant compte des teneurs en azote ammoniacal et en azote total des différentes phases liquides. Le temps de séjour moyen pour 1 m³ de lisier dans la fosse de stockage à la ferme est de 46,2 jours et la surface de contact avec l'air est de 0,96 m² m⁻³, le facteur d'émission corrigé est de 8,85 g N m⁻² jour⁻¹. Les caractéristiques du compost et les pertes d'azote, pendant le compostage, essentiellement sous forme de NH₃, sont basées sur l'étude de Le Bris et al. (2005).

L'utilisation d'énergie non-renouvelable et des matériaux pris en compte dans cette étude comprend le gas-oil pour le transport et l'épandage du lisier et du compost, l'électricité utilisée pour le traitement, le béton, les machines et les plastiques (PVC, polyester) utilisés pour le stockage et l'épandage du lisier. Les impacts liés à l'extraction des matériaux et lors du transport sont basés sur BUWAL (1996).

Le lisier et le compost épandus sont utilisés en substitution d'engrais minéraux. Pour une évaluation environnementale complète, les impacts liés à l'utilisation des ressources nécessaires pour la fabrication, le transport et l'application de ces engrais économisés, ainsi que les émissions associées, ont été déduits des impacts totaux des deux scénarios. Les ressources (machines, carburants) nécessaires pour l'application de ces engrais sont basées sur van der Werf (pers. comm., 2006) et les émissions de NH₃ et N₂O pendant leur application sont basées sur IPCC (1997). Les valeurs fertilisantes à court terme (Coefficient d'Equivalence d'Engrais : CEE) en N et P des produits organiques ont été calculées à partir des travaux de Morvan et Leterme (2001), Morvan et al. (2005), et Linères et al. (2005) ; les valeurs de CEE retenues

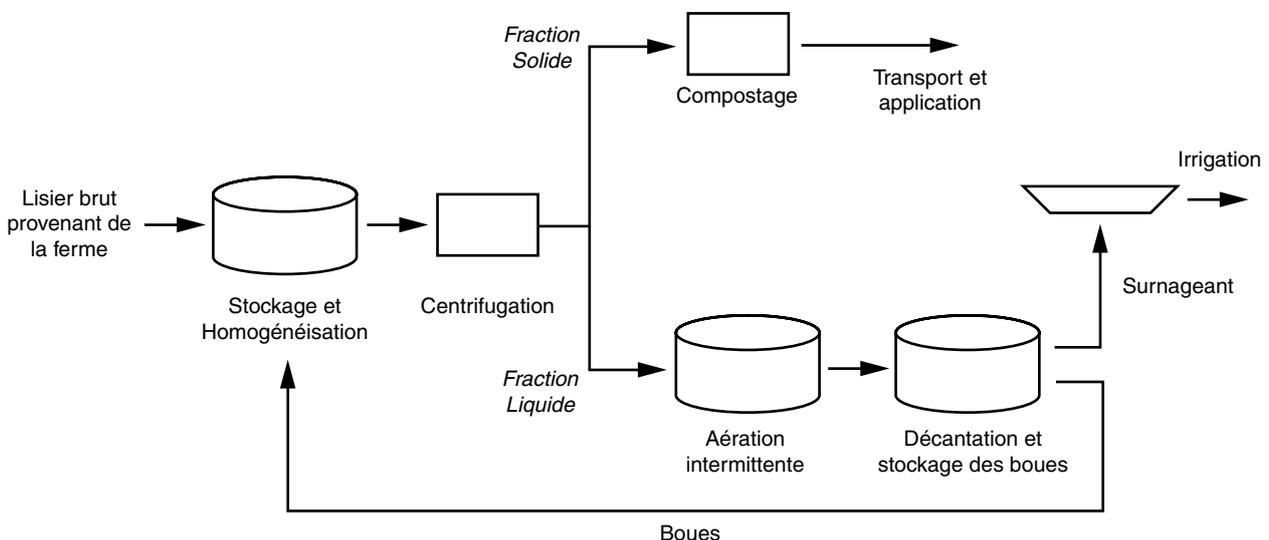


Figure 2 - Schéma du processus de traitement du lisier

pour le lisier sont de 65 et 95 % pour N et P respectivement, et de 10 et 88 % pour le refus de séparation composté. Le potassium des produits organiques est considéré totalement disponible.

Dans la méthode ACV, les émissions et l'utilisation des ressources sont agrégées en indicateurs d'impact environnemental. Les impacts pris en compte pour l'évaluation environnementale des deux scénarios sont : l'eutrophisation (en kg PO₄-eq.), l'acidification (en SO₂-eq.), le changement climatique lié aux émissions de gaz à effet serre (en CO₂-eq.), et l'utilisation d'énergie non-renouvelable (en MJ de Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI)-eq.). Pour la quantification des impacts potentiels des deux scénarios, la méthode CML pour l'Europe de l'Ouest a été utilisée dans le logiciel SimaPro (PRe consultants, 2001).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 3 montre la comparaison intégrale des deux scénarios selon les quatre indicateurs normalisés par rapport à la valeur maximum obtenue pour chaque indicateur. La performance environnementale du scénario Transfert est meilleure que celle du scénario Traitement pour les quatre indicateurs. La différence est particulièrement importante pour les potentiels d'eutrophisation et d'acidification ainsi que pour la consommation d'énergie.

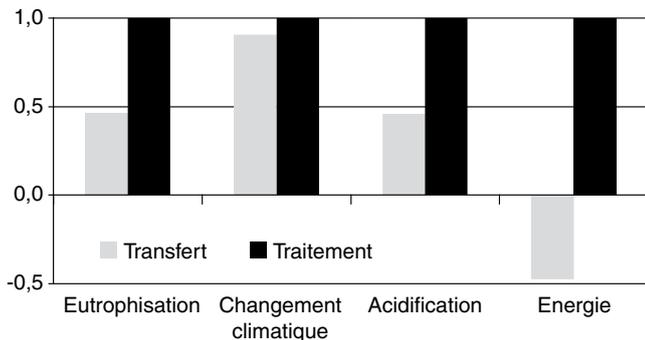


Figure 3 - Résultats normalisés des impacts des deux scénarios de gestion de lisier

Pour comprendre mieux les avantages et les inconvénients de chaque scénario et les processus responsables des différents impacts, la figure 4 montre la contribution de chaque étape ou processus des deux scénarios pour les quatre indicateurs exprimés pour 1 m³ de lisier à traiter ou épandre.

Dans les deux scénarios, les émissions de NH₃ constituent la contribution principale à l'eutrophisation et à l'acidification. Pour le scénario Traitement, 1,51 kg de NH₃ m⁻³ est émis, dont 58 % pendant le processus de traitement (dont 67 % durant le compostage, 21 % pendant le stockage dans la fosse d'homogénéisation et le reste lors la décantation du lisier traité et du stockage de boues et du surnageant), 31 % lors du stockage du lisier à la ferme et 11 % lors de l'application du compost. D'autres composés tels que les NOx produits pendant la combustion du gas-oil utilisé pour le transport du lisier et du compost contribuent également à l'eutrophisation, mais leur impact global est très faible. Pour le scénario Transfert, 0,70 kg NH₃ m⁻³ est émis ; 89 % son-

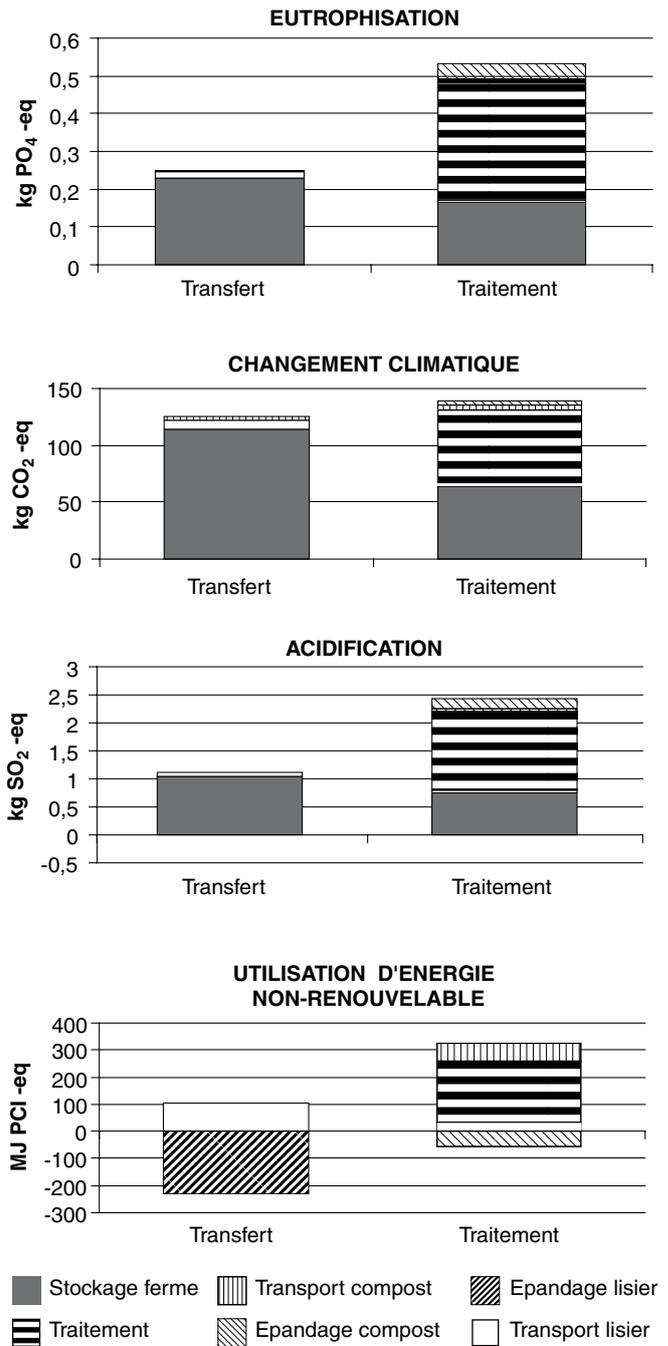


Figure 4 - Contribution des processus aux impacts de deux scénarios de gestion de lisier

témis pendant le stockage du lisier à la ferme et seulement 11 % est émis lors de l'injection du lisier dans le sol.

Pour le changement climatique, la contribution la plus importante provient, pour les deux scénarios, du CH₄ émis. Pour le scénario Traitement, 5,94 kg de CH₄ m⁻³ sont émis, 51 % pendant le stockage du lisier à la ferme et 49 % pendant le processus de traitement, dont 58 % pendant le stockage dans la fosse d'homogénéisation, 30 % pendant le compostage et le reste dans les processus d'aération, de décantation et de stockage des boues et du surnageant. Pour le scénario Transfert, 5,44 kg de CH₄ m⁻³ sont émis, uniquement pendant le stockage du lisier à la ferme. Du CO₂ provenant de combustible fossile et du N₂O est aussi émis pendant le transport du lisier et du compost, ainsi que durant le traite-

ment et l'épandage, mais les quantités, et donc leur contribution au changement climatique, sont relativement faibles comparées aux impacts liés aux émissions de CH_4 .

La couverture des fosses de stockage peut permettre de diminuer les émissions gazeuses. Portejoie et al. (2003) ont observé une diminution des émissions de NH_3 pendant le stockage allant de 74 jusqu'à 100 % selon les matériaux de couverture utilisés. Cette diminution aurait un important effet sur les indicateurs d'eutrophisation et d'acidification. Cependant, Berg et al. (2006) ont montré que si la couverture des fosses permet de réduire les émissions de NH_3 , les émissions de CH_4 et N_2O peuvent être augmentées avec un effet sur le changement climatique. Dans de futures études d'évaluation environnementale considérant différentes options de gestion du lisier, il faudrait inclure différents types de couverture des installations de stockage et quantifier leur effet sur les différents indicateurs d'impact.

Dans notre travail, les émissions gazeuses sont estimées sur la base des mesures d'une seule étude restreinte (Loyon et al. 2005) ; de plus, les facteurs d'émission fournis par cette étude ont été corrigés pour tenir compte de caractéristiques du lisier sensiblement différentes. Il serait utile de conduire des études d'incertitude et des essais avec des mesures continues afin de développer des modèles mécanistes permettant de calculer les facteurs d'émissions pour différents types de lisier et différentes conditions climatiques et techniques de gestion de lisier.

L'utilisation d'énergie non-renouvelable dans les deux scénarios est fortement contrastée. Le scénario Traitement consomme la majeure partie de son énergie (71 %) pendant le processus de traitement, puisque 18,7 KWh sont nécessaires pour traiter 1 m^3 de lisier (Levasseur et al. 2003) (principalement en raison de la consommation d'électricité par la centrifugeuse et l'aération) ; le reste de la consommation d'énergie a lieu durant le transport du lisier de la ferme à la station de traitement et pour l'exportation et l'application du compost (1,94 kg de gas-oil m^{-3}). Pour le traitement du lisier, il serait intéressant d'analyser d'autres techniques avec une consommation énergétique inférieure, voire même la production d'énergie, comme la méthanisation.

Dans le scénario Transfert, la consommation la plus importante d'énergie a lieu durant le transport du lisier (2,55 kg

de gas-oil m^{-3}), cependant, l'utilisation globale d'énergie est négative car le lisier est utilisé en substitution des engrais et l'énergie économisée pour leur fabrication et leur transport est plus importante que celle utilisée pour le transport et l'injection de lisier. Pour un lisier avec les caractéristiques de celui utilisé dans cette étude (lisier de porcs à l'engrais) et avec les pertes d'azote pendant le stockage et l'injection prises en compte, il serait possible de le transporter jusqu'à une distance moyenne de 87 km en maintenant une balance énergétique nulle, sans avoir d'incidence importante sur l'eutrophisation, l'acidification et le changement climatique, puisque les émissions qui influent sur ces indicateurs d'impact ont majoritairement lieu au stockage.

CONCLUSION

L'ACV est une méthode appropriée pour l'évaluation environnementale de scénarios contrastés de gestion du lisier, car elle permet d'inclure les ressources utilisées et de comptabiliser les émissions avec leur impacts potentiels pour l'environnement. Par rapport aux indicateurs environnementaux choisis, le scénario Transfert a une meilleure performance environnementale que le scénario Traitement, car les émissions gazeuses et la consommation d'énergie sont inférieures.

Des études ultérieures sur les scénarios de gestion de lisier excédentaire devraient inclure une analyse d'incertitude sur les émissions gazeuses au stockage et lors du traitement. De même, la prise en compte de la dynamique de vidange des fosses de stockage à la ferme dans un plan d'épandage collectif de lisier permettrait d'affiner l'analyse, car c'est durant cette période que la plupart des émissions sont produites. A cette fin, il serait intéressant d'utiliser des modèles dynamiques de simulation (Guerrin, 2001 ; Guerrin et Paillat, 2003) pour mieux prédire les émissions au stockage en fonction des conditions climatiques. De même, différentes techniques de couverture des fosses de stockage du lisier et de traitement devraient être analysées pour améliorer les performances environnementales des plans de résorption d'azote.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le GIE Terre-Eau qui nous a permis de mener cette étude en nous fournissant l'ensemble des données concernant leur projet de plan d'épandage collectif du lisier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., Robin P., Morvan Th., Hassouna M., Paillat J.M., Vertès F., 2006. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. *J. Clean. Prod.*, Sous Presse.
- Berg W., Brunsch R., Pазsiczki I., 2006. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 112, 129-134.
- BUWAL. 1996. Ökoinventare für Verpackungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 250/1+2, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Suisse.
- Cebron D., Ferron R., 2003. Excédent azoté : La résorption s'amorce. *Agreste Bretagne*, 45, 4-9.

- Guerrin F., 2001. Magma: A model to help manage animal wastes at the farm level. *Comput. Electron. Agr.*, 33, 1, 35-54.
- Guerrin F., Paillat J.M., (eds). 2003. Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité - cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'Atp 99/60. Actes du séminaire, 19-20 juin 2002, Montpellier, France. CIRAD, Montpellier France, CD-rom.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., De Koning A., Van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo De Haes H.A., De Bruijn H., Van Duin R., Huijbregts M.A.J., 2002. Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden, The Pays-Bas.
- IPCC, 1997. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change. Reference Manual, vol. 3. Disponible à <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>.
- Le Bris B., Toularastel P., Dappelo C., 2005. Compostage en andains de coproduits issus de séparation de phases de lisier brut par centrifugation. Retournement au godet aérateur compost «Emily». Compte rendu d'expérimentation. Chambre d'Agriculture Bretagne 24 p. Rennes, France.
- Levasseur P., Le Bris B., Gorius H., Le Cozler Y., 2003. Traitement biologique par boue activée et compostage du lisier sur paille : Enquête en élevage. *Techni porc* 26, 1, 5-11.
- Levasseur P., 2005. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement : Quantités produites. Institut Technique du Porc, Paris, 68 p.
- Linères M., Manga A., Morel C., 2005. Plant availability of phosphorus from pig wastes. International workshop on Green Pork production, Paris, 25-27 mai 2005.
- Loyon L., Beline F., Guiziou F., Boursier H., Peu P., 200. Bilan environnemental des procédés de traitement biologique des lisiers de porcs. Report ADEME-CEMAGREF, France, 93 p.
- MIRE (Mission Régionale et Interdépartementale de l'Eau), 2004. La resorption des excédents d'azote en Bretagne. Prefecture de la Region Bretagne, Rennes, 36 p.
- Morvan T., Leterme P., 2001. Vers une prévision opérationnelle des flux de N résultant de l'épandage de lisier : paramétrage d'un modèle dynamique de simulation des transformations de l'azote des lisiers (STAL). *Ingénieries*, 26, 17-26.
- Morvan T., Nicolardot B., Péan L., 2005. Biochemical composition and kinetics of C and N mineralization of animal wastes: a typological approach. *Biol. Fert. Soils*, 42, 6, 513-522.
- Portejoie S., Martinez J., Guiziou F., Coste C.M., 2003. Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes. *Bioresource Technol.* 87, 199-207.
- Pré Consultants, 1997. SimaPro 2 Method. Database Manual. Pré Consultants B.V., Amersfoort, Pays-Bas.
- Sherlock R.R., Sommer S.G., Khan R.Z., Wood C.W., Guertal E.A., Freney J.R., Dawson C.O., Cameron K.C., 2002. Emission of ammonia, methane and nitrous oxide from pig slurry applied to a pasture in New Zealand. *J. Environ. Qual.*, 31, 1491-1501.
- Vocke G., 1991. Impact of environmental safeguards in the livestock sector. *World Agriculture*, June 1991, USDA. Disponible à : http://fin-darticles.com/p/articles/mi_m3809/is_n63/ai_11174294.